

А. К. Бродский, Н. Г. Бобылев

БИОРАЗНООБРАЗИЕ В ПРЕОДОЛЕНИИ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМНОГО И АНТРОПОЦЕНТРИЧНОГО ПОДХОДОВ В СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Обсуждая проблемы биосферного равновесия, политики и журналисты рассматривают биосферу прежде всего как среду существования человека, фокусируя внимание на абиотических параметрах среды — показателях климата, концентрации парниковых газов, уровнях загрязнения среды и др. Процессы, происходящие в живой природе, при этом отодвигаются на задний план. Однако в основе современного экологического кризиса лежат разрушение биоразнообразия и деградация его функций. Современные условия жизни на Земле, в которых может жить человек, созданы и поддерживаются непрерывной работой живой природы, которая, по сути, является биосферной системой жизнеобеспечения человечества. Человечество приходит к осознанию того, что все нарастающие социальные и природные аномалии представляют собой следствие нашего неверного поведения, в основе которого помимо социальных, экономических и иных причин лежит недооценка значения биоразнообразия в нашей жизни. В этой статье авторы подробно аргументируют свою позицию по увеличению значимости биоразнообразия в стратегии устойчивого развития, в том числе в практических ее аспектах. Библиогр. 18 назв. Ил. 4.

Ключевые слова: биосфера, экологический кризис, биоразнообразие, система динамической устойчивости, концепция устойчивого развития.

A. K. Brodsky, N. G. Bobylev

BIODIVERSITY AND OVERCOMING THE CONTEMPORARY ENVIRONMENTAL CRISIS: A DISCUSSION ON ANTHROPOCENTRIC AND ECOSYSTEM-BASED APPROACHES TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT

St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

Talking about the biosphere equilibrium, our society has been primarily focused on discussing anthropo-centered issues such as climate, greenhouse gas concentrations, levels of environmental pollution, to name a few. Processes occurring in nature have been marginalized too often in public policy debates. However, diminishing biodiversity and ecosystems degradation are at the core of the current ecological crisis. While perusing development, too often we forget that the Earth's condition, which enables humans to thrive, is a product of the biosphere and its ecosystems; current human livelihoods are based on ecosystem services. The paper discusses the role which the biodiversity and ecosystems discourse should be playing in shaping the development and environmental policy debate across academic, social, and policy sectors. Refs 18. Figs 4.

Keywords: biosphere, ecological crisis, biodiversity, dynamic stability system, concept of sustainable development.

1. Различия в подходах

В последнее время акценты все заметнее смещаются с природопользования в сторону проблем, связанных с охраной природы. И здесь только экологи могут привести аргументы в пользу необходимости сохранять природные комплексы и изымать из хозяйственного использования значительные территории. Все ощу-

тимее становятся различия в подходах к решению подобных вопросов между фундаментальными и прикладными науками, биологией, экологией, геоэкологией, экологической безопасностью, рациональным природопользованием. Различия в подходах хорошо заметны в множестве работ (Вернадский, 1989; Еськов, 2004; Кравчук и др., 2009; Левченко, 2004; Левченко, 2011; Яблоков и др., 2015; Wende et al., 2012; Bobylev, 2010), посвященных проблемам развития и деградации биосферы, а также анализу причин и последствий глобального экологического кризиса.

Экология — древнейшая и одновременно совсем молодая наука. Область ее компетенции простирается от организменного уровня до биосферы в целом. И если в «нижних этажах» своей компетенции экология выступает как фундаментальная биологическая наука, то в «верхних этажах» все сильнее ощущается влияние наук о Земле. Собственная и специфическая область компетенции экологии — уровень экологических систем. Наша задача — показать, что как раз анализ проблем биосферы служит сочетанию и взаимодействию различных подходов, а плодотворный синтез возможен лишь при условии взаимного дополнения разных подходов, концентрирующих свое внимание на разных уровнях организации биосферы. Все ощутимее становится неизбежность «выхода» за рамки традиционной экологии; для решения многих вопросов необходимо привлечение принципов устойчивого развития, что и является предметом подробного рассмотрения в нашей статье.

2. Пути воздействия человека на природу

Предмет самого глубокого беспокойства экологов — будущее планеты Земля. Разрушительная деятельность человека уже сейчас часто превышает возможности биосферы компенсировать антропогенные воздействия и порождает конфликт между обществом и природой, создает проблемы, которые получили название экологических. До последних нескольких сотен лет рост численности населения Земли был относительно медленным, уровень рождаемости был лишь слегка выше уровня смертности. Самое большое антропогенное воздействие на природные комплексы произошло за последние 150 лет, в течение которых численность населения планеты выросла от 1 млрд человек в 1850 г. до 2 млрд человек в 1930, а на 12 октября 1998 г. она составила 6 млрд человек. Этот рост сопряжен с усилением воздействия на природные системы, разрушением местообитаний многих видов животных и растений. Сведение лесов и опустынивание территорий происходит катастрофически быстро. Мы регулируем сток рек, разрабатываем месторождения полезных ископаемых и очищаем территории под посевы сельскохозяйственных культур. Строительство дорог, прокладка трубопроводов и иные формы освоения территорий неизбежно приводят к разрушению местообитаний и утрате экологическими системами своих естественных свойств (Bobylev, 2009; 2013). Деградация окружающей среды происходит все возрастающими темпами. Сокращение численности видов приводит к обеднению генетического разнообразия, без чего невозможна их адаптация к меняющейся среде. Это касается не только дикой природы, но и домашних животных, и культурных растений.

Техническая вооруженность позволила человеку осваивать ресурсы, мало-или вообще недоступные другим видам (например, ископаемые георесурсы), и, как

следствие, преодолеть такое препятствие для роста своей численности, как ограниченность необходимых для этого ресурсов.

Воздействие человеческого общества как единого целого на природу, по своему характеру резко отличается от воздействия на нее всех других живых существ. В.И. Вернадский писал: «Раньше организмы влияли на историю тех атомов, которые были нужны им для роста, размножения, питания, дыхания. Человек расширил этот круг, влияя на элементы, нужные для техники и создания цивилизованных форм жизни», что и изменило «вечный бег геохимических циклов» (Вернадский, 1994). Первое и очевидное следствие природопользования — нарушение естественных биогеохимических циклов (рис. 1).

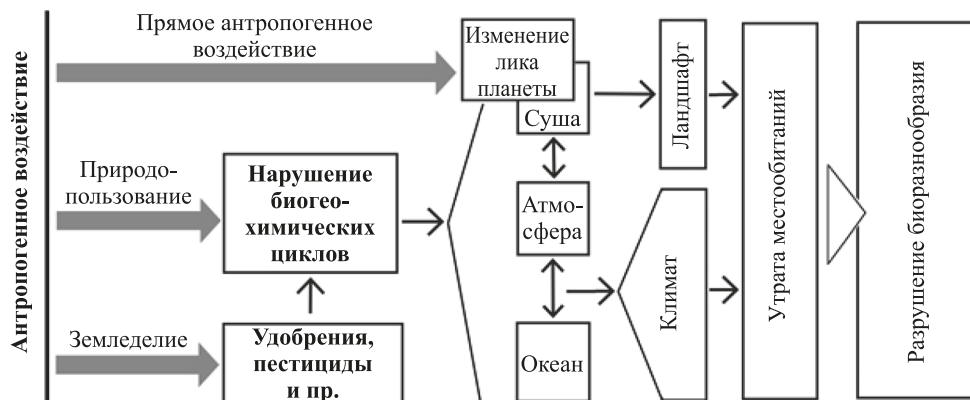


Рис. 1. Блок-схема, иллюстрирующая причинно-следственную связь антропогенного воздействия на биоразнообразие

Сырье и энергия, используемые в бытовых целях и в производстве, появляются не по мановению волшебной палочки — все, что нужно, человек берет у планеты. Но после использования в экономической деятельности потоки ресурсов не исчезают — остатки сырья идут на переработку или превращаются в отходы и загрязнители, а энергия рассеивается в виде тепла в окружающую среду.

Ключевое слово при обсуждении проблем, связанных с нарушением биогеохимических циклов, — скорость. Стоит потоку веществ замедлиться на каком-то из этапов, как мы сталкиваемся либо с загрязнением, вызванным избыточным количеством данного вещества, либо с его недостатком. Во втором случае такое вещество начинает играть лимитирующую роль, что заставляет человека компенсировать его нехватку, прибегая к другим источникам и ресурсам. В итоге вещества, ранее сконцентрированные в каком-то одном месте, распыляются и разносятся по большим площадям — меняется геохимия ландшафтов.

Одно из проявлений глобального экологического кризиса — антропогенное изменение климата (см. рис. 1). Современные данные об изменении климата свидетельствуют о том, что вследствие вырубки лесов и выбросов парниковых газов (в первую очередь, углекислого газа и метана в результате сжигания ископаемого топлива и развития животноводства) средняя температура воздуха у поверхности Земли увеличилась с 1750 г. на 0,7 °C (Яблоков и др., 2015).

Суммируя информацию о стремительно надвигающейся угрозе разрушения равновесия биосферы, проследим цепочку событий, ведущих в этом направлении (см. рис. 1): рост населения → интенсификация природопользования → нарушение биогеохимических циклов → загрязнение среды (плюс изменение лика планеты) → утрата местообитаний → разрушение биоразнообразия → деградация экосистем → нарушение территориального и компонентного равновесия биосферы → угроза существованию человечества.

3. Биосферное равновесие и последствия антропогенного воздействия

Масштабное вмешательство деятельности человека в живую структуру планеты, прежде всего посредством химизации сельского хозяйства и выбросов в атмосферу продуктов горения углеводородного топлива, привело к нарушению естественных взаимосвязей на всех уровнях биосферы. Основным итогом воздействия человека на природу — глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний (см. рис. 1). Под этим термином фигурируют как прямое и полное разрушение естественной среды, так и ее деградация, т. е. частичное разрушение, утрата ею свойств, необходимых для жизнедеятельности биотического сообщества. Необходимые для этого качества утрачиваются в первую очередь под влиянием прямого антропогенного воздействия, в результате истощающего использования природных ресурсов, интродукции чужеродных видов и загрязнения среды.

3.1. Утрата местообитаний. Нарушение среды, лишение ее свойств, пригодных для полноценного существования биотического сообщества, часто принимает разные формы, затрагивает разные компоненты ландшафта и происходит с различной скоростью. Так, наземные и водные местообитания по-разному страдают от антропогенного воздействия. В случае наземных экосистем наибольшее значение имеют прямое разрушение и деградация экосистемы, в случае водных экосистем чаще всего естественная среда утрачивается в результате загрязнения. Кроме того, в результате деятельности человека в окружающей среде нередко создаются условия, к которым инвазивные виды адаптируются легче, чем местные. Трансформируя экосистемы, человек тем самым создает условия для внедрения и быстрого размножения видов-вселенцев.

В ряде случаев деградация местообитания происходит скрытно, без явных внешних признаков. Так, внешние факторы, которые не изменяют доминирующую растительную структуру сообщества, могут тем не менее привести к нарушениям в биотическом сообществе и в конечном итоге к исчезновению видов, хотя эти изменения заметны не сразу. Например, в лиственных лесах умеренного пояса деградация местообитаний может быть вызвана частыми неконтролируемыми низинными пожарами; эти пожары не обязательно губят зрелые деревья, но постепенно обедняют богатые сообщества лесных травянистых растений и насекомых лесной подстилки.

Столь же на первый взгляд незначительное воздействие приводит к сокращению видового разнообразия морских экосистем. Незаметно для обществности рыболовные суда ежегодно тралами бороздят около 15 млн км² океанского дна, разрушая площадь в 150 раз больше, чем площадь вырубаемых за этот же период лесов. Тралы рыболовных судов повреждают такие нежные создания, как анемоны и губки, сокращая видовое разнообразие и изменяя структуру сообществ.

Развитие новых технологий и разрушение окружающей среды в результате деятельности человека идет со скоростью, значительно превышающей способности видов приспособиться к новым условиям. Исключение составляют лишь немногие виды животных и растений, которые мы называем сорными и с которыми не желаем делить будущее планеты. Вероятно, такие насекомые и сорняки обладают диапазоном наследственной изменчивости, позволяющим адаптироваться к быстрым изменениям среды, наступающим в результате ее нарушения, но большинство более крупных растений и животных к этому неспособны.

Вмешательство человека часто приводит к снижению разнообразия природных условий. Например, уничтожая различные виды древесных пород в смешанных лесах с целью создания предпочтительных условий для произрастания сосны, используемой в целлюлозной промышленности, человек неизбежно уменьшает число экологических ниш. В результате в образовавшихся чистых сосновых лесах видовое разнообразие животных и растений существенно уменьшается по сравнению с исходным сообществом смешанного леса. Подобное упрощение структуры леса ведет к огромной потере биоразнообразия, как это уже произошло в Финляндии, а в длительной перспективе динамика лесной экосистемы может быть необратимо нарушена.

Помимо полного разрушения местообитаний имеет место их фрагментация: угодья, занимавшие большие площади, часто разбиваются на маленькие участки дорогами, полями, городами и различными сооружениями. Фрагментация мест обитания — это процесс, при котором сплошная площадь местообитания одновременно сокращается и распадается на две части или более. При этом значительно возрастает риск исчезновения локальной популяции вида. Фрагментация — первый шаг к вымиранию популяций. В сотнях эмпирических исследований было показано, что, независимо от фактической причины вымирания, его риск для популяции увеличивается с уменьшением размера популяции. Риск локального вымирания также возрастает с уменьшением площади участка местообитания, поскольку мелкие участки обычно населены небольшими популяциями.

3.2. Разрушение биоразнообразия. Биоразнообразие включает три ветви: 1) генетическое разнообразие, 2) разнообразие видов и 3) разнообразие экосистем. Утрата тех или иных элементов, а также важных функций в любой из этих ветвей приводит к разрушению биоразнообразия. Чаще всего это происходит вследствие локального вымирания видов или популяций, а также исчезновения с лица Земли крупных таксонов. Весь комплекс причин сокращения биоразнообразия в наши дни можно свести к одной всеобъемлющей — влиянию человека на природные экосистемы. Оно может быть прямым и становится причиной сокращения или даже полного исчезновения локальных популяций. Однако его более серьезные последствия связаны с воздействием человека на сами экосистемы.

Биоразнообразие планеты в глобальном масштабе подвержено влиянию глобальных факторов, таких как геологические процессы, изменение климата, нарушение биогеохимических циклов, экспансия прогрессивных биологических групп. Начиная с антропогенного периода кайнозойской эры определяющую роль в изменении биоразнообразия стали играть антропогенные факторы и в первую очередь изменение землепользования, т. е. использование земель для различных целей, и широкое расселение чужеродных видов (Бродский, 2012).

Долговременный тренд за последние 500 млн лет состоял в постепенном эволюционном развитии все более разнообразной биоты. Несмотря на кризисы, которые время от времени сотрясали биосферу, биоразнообразие продолжало расти. Периоды сокращения биоразнообразия в прошлом растягивались на миллионы лет, сохраняя адаптационные возможности экосистем и «подстегивая» биологическую эволюцию. Согласно современным представлениям (Алексеев, 2000), в фанерозое было восемь массовых вымираний организмов и среди них четыре великих. Массовые вымирания характеризуются исчезновением в узком интервале геологического времени большого числа таксонов, принадлежащих к различным систематическим и экологическим группам. После каждого кризиса обилие незаполненных ниш и слабая конкуренция вызывали компенсаторные эволюционные преобразования и появление новых групп из уцелевших остатков прежней фауны и флоры.

С приходом человека характер экологических кризисов изменился. Сейчас происходит катастрофический обрыв множества эволюционных стволов, исчезают многие филогенетические ветви, унося с собой информацию о путях развития жизни за миллиарды лет эволюции. По расчетам, ежедневно исчезает порядка 100–200 видов, и в XXI в. исчезнут 50–80 % всех видов живых существ, населявших Землю до начала промышленной революции. Это на два порядка выше, чем во время нескольких прошлых эпох массового вымирания видов, и на три порядка выше, чем «базовый» естественный темп вымирания (Яблоков и др., 2015).

Чтобы оценить последствия сокращения биоразнообразия для будущего человечества, необходимо учитывать ту роль, которую многие виды животных, растений и микроорганизмов играют в существовании и развитии биосферы (Fordham et al., 2016). Во-первых, биоразнообразием обеспечиваются функционирование и устойчивость экосистем по отношению к внешнему воздействию (стрессу); соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к деградации экосистем и невозможности этих последних выполнять свои функции по жизнеобеспечению человечества. Во-вторых, биоразнообразие обеспечивает заданный путь развития экосистем с прогнозируемым конечным состоянием; соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к невозможности достижения устойчивого терминального состояния, что неизбежно отразится на территориальном и компонентном равновесии биосферы. В-третьих, биоразнообразие обеспечивает направленный, понятный характер эволюции биосферы, связанный с увеличением продуктивности, ростом многообразия слагающих биосферу экосистем, их территориальным и компонентным равновесием, формированием в результате воздействия биоты на абиотическую среду системы динамической устойчивости биосферы. Здесь даже незначительное сокращение биоразнообразия на уровне локальных экосистем неизбежно скажется на равновесии более высоких уровней, что в итоге приведет к нарушению обмена веществ между человеческим обществом и природой. Два первых пути антропогенного воздействия на биоразнообразие могут быть проиллюстрированы на примере тех процессов, которые реализуются на уровне экосистемы. Для оценки последствий сокращения биоразнообразия на уровне биосферы необходимо рассмотреть роль биоразнообразия в формировании биосферной системы динамической устойчивости.

3.2.1. Роль биоразнообразия в функционировании экосистемы. Не существует прямой безальтернативной зависимости между устойчивостью экосистемы

и ее видовым богатством, поскольку равновероятно существуют и сравнительно устойчивые маловидовые экосистемы, и неустойчивые экосистемы при высоком видовом богатстве. Связь разнообразия и устойчивости экосистем не укладывается в простую формулу: «чем больше разнообразие, тем лучше». Вместе с тем длинные ряды наблюдений за состоянием экосистем показывают, что данный принцип не действует по одной простой причине: биотическое сообщество функционирует таким образом, что удерживает уровень биоразнообразия на оптимальном уровне, не позволяя превысить его. Иное дело — сокращение биоразнообразия; здесь действительно начинаются негативные процессы с далеко идущими последствиями. Только в богатом видами сообществе обеспечивается соответствие прихода органического вещества и его расхода, т. е. соответствие между продуцированием органики и ее потреблением, и тем самым обеспечивается устойчивость экосистемы. Весь вопрос здесь в способности биотического сообщества обеспечить это соответствие в данных условиях. В противном случае экосистема не сможет устоять под влиянием сильного внешнего воздействия и деградирует. Разрушение экосистемы проходит через ряд этапов и завершается нарушением связей между блоками экосистемы, размыканием круговоротов веществ, ростом стохастических процессов, усилением роли «сорных» видов фауны и флоры.

Динамика видового разнообразия сообщества относительно некоторого среднего уровня обеспечивается совместным действием факторов среды и различных форм взаимодействия между видовыми популяциями. Чем выше видовое разнообразие, тем успешнее биотическое сообщество взаимодействует с физической средой, обеспечивая то, что, без всякого сомнения, составляет основу жизни:

- 1) первичную и вторичную продукцию экосистемы,
- 2) круговорот питательных веществ,
- 3) устойчивость экосистемы по отношению к внешним воздействиям.

Результат этого взаимодействия состоит в усилении гетеротипических реакций, сохранении минеральных веществ, повышении стабильности и увеличении информации. От того, насколько богато представлены видами уровни консументов первого, второго и последующих порядков, от того, насколько велика их специализация, зависит полнота использования первичной продукции. В наиболее стабильных сообществах наблюдается равновесие между произведенным за год органическим веществом и его утилизацией значительным числом разнообразных консументов.

Подобно тому как стабильность экосистемы в целом определяется биотическим сообществом, так и устойчивость самого сообщества зависит от эффективности функционирования высоких трофических уровней — хищников высокого порядка. Сложность строения видов, или объем информации, который они приносят в экосистему, возрастает по мере подъема в верхние трофические уровни; именно так следует оценивать сложное поведение хищников, поддержание иерархической структуры группы, разнообразные связи в популяции и т. п. От их деятельности в значительной мере зависит эффективность управления энергетическими потоками в экосистеме. Здесь возможна аналогия с постиндустриальным обществом, в котором решающее значение приобретает не уровень производства (как это было в индустриальную эпоху), а оптимизация управления энергопотоками за счет информационных связей.

Но именно животные, формирующие «блок управления» экосистемы, страдают от деятельности человека в первую очередь. Многочисленные исследования показывают, что жертвами антропогенного воздействия в основном становятся виды, для которых характерны крупные размеры особей, большая продолжительность жизни, низкая способность к расселению, узкая специализация к использованию ресурсов и невысокие темпы размножения. Виды с такими свойствами относят как правило к высоким трофическим уровням, и они особенно характерны для поздних стадий развития экосистемы, когда после ряда промежуточных стадий надолго устанавливается климаксное сообщество. Такие экосистемы в первую очередь становятся объектом хозяйственной деятельности человека. На смену исчезающим из местной фауны и флоры видам приходят раннесукцессионные виды с противоположными характеристиками, которые уже не могут поддерживать полезные функции экосистем. Разрушая блок управления, человек лишает экосистему возможности сопротивляться внешнему воздействию. Иными словами, основной итог хозяйственной деятельности человека состоит в том, что он, разрушая систему устойчивости природных комплексов, делает их уязвимыми по отношению к видам-вселенцам, загрязнению разного вида, опасным болезням и иным внешним воздействиям.

3.2.2. Роль биоразнообразия в развитии экосистемы. Любое биотическое сообщество со временем преобразуется. Его развитие, называемое также экологической сукцессией, проходит через ряд этапов. Каждое сообщество в силу превышения прихода органического вещества над расходом (превышение продуцирования над утилизацией) меняет среду и тем самым создает условия для собственной гибели и процветания следующего за ним сообщества. В ходе сукцессии большинство видов закономерно появляются и исчезают, позволяя климаксному сообществу обеспечивать наиболее полный круговорот веществ. Скорость преобразований постепенно замедляется, и наконец на последнем этапе уже не видно никаких изменений; соответственно, надолго устанавливается терминальное, или климаксное сообщество, которое находится в равновесии с преобладающими в данной местности условиями среды. Таковы биомы — климаксные сообщества, которые в результате развития в наземных условиях достигли равновесия с региональным климатом.

Сообщества, сменяющие друг друга в ходе развития экосистемы, характеризуются разными признаками. Так, для незрелых экосистем на ранних стадиях экологической сукцессии характерны низкое видовое разнообразие и простые схемы питания: много продуцентов, травоядных животных и мало редуцентов. Растения, в основном однолетние травы, тратят большую часть энергии на продукцию семян для своего воспроизводства, а не на корневую систему, стебли и листья. Они получают питательный материал, как правило, со стоком из других экосистем, так как сами не могут удерживать и накапливать биогенные вещества.

Зрелые экосистемы, в противоположность незрелым, характеризуются многообразием видов, стабильными популяциями и сложными схемами питания. В системе доминируют редуценты, разлагающие большое количество мертвого органического вещества. Растения представлены крупными многолетними травами и деревьями. Они тратят основную долю энергии и питательных материалов на поддержание корневой системы, ствола, листьев, а не на производство новых растений.

Такие экосистемы сами добывают, удерживают и перерабатывают часть биогенных веществ, в которых нуждаются.

Человек, «преобразуя природу», прерывает естественный ход развития экосистемы, препятствует достижению ею устойчивого терминального состояния. Поскольку основным модифицирующим фактором экосистемы является биотическое сообщество, то очевидно, что чем сильнее нарушена среда, тем выше вероятность того, что развитие экосистемы остановится, не достигнув равновесия с региональным климатом. Так, например, чрезмерный выпас скота может породить пустынное сообщество там, где по условиям регионального климата могла бы сохраняться степь. Пустынные сообщества в данном случае — дисклимакс, а степь — климатический климакс. Таким образом, вмешательство человека в развитие экосистемы приводит к тому, что биотическое сообщество не достигает равновесия со средой, а сама экосистема становится уязвимой к различного рода местным нарушениям и чаще всего теряет способность к долгому и устойчивому существованию. В итоге структура биосферы оказывается нарушенной — в ней не отражается история развития слагающих ее экосистем различного уровня.

Таков основной вывод, который можно сделать в результате рассмотрения территориального и компонентного равновесия биосферы вследствие антропогенного нарушения естественного хода развития слагающих ее экосистем. Внутри биосферы должны быть территориально сбалансированы различные экосистемы. Иными словами, на Земле должно сохраняться в качестве биомов необходимое число угодий (тундр, лесов, пустынь и т. д.), а внутри каждого биома должна сохраняться оптимальность (в биоме тундр — оптимальная тундровость, внутри биома хвойных лесов — оптимальная лесистость и т. д.). И так до самых мелких биогеоценозов. Значительные преобразования внутри биомов и смещение в них равновесия между экосистемами низшего порядка неминуемо вызывают саморегуляцию на более высоком уровне. Это отражается на многих природных процессах — от изменения глубины залегания грунтовых вод до перераспределения воздушных потоков. Аналогичное явление наблюдается и на уровне очень крупных систем биосферы при изменении соотношения между территориями биомов. В ходе освоения земель, в самом широком понимании этого слова, нарушается и компонентное, и территориальное равновесие. До определенной степени это допустимо и даже необходимо, ибо только в неравновесном состоянии экосистемы способны давать полезную продукцию в форме урожая. Но, не зная меры допустимого, человек стремится получить больше, чем может дать природа, забывая, что устойчивость экосистем складывается из великого множества элементов, формально не входящих в понятие «ресурсы».

3.2.3. Биоразнообразие и эволюция биосферы. Формирование системы динамической устойчивости биосферы — результат деятельности биоты. С первых шагов развития жизни на Земле живые организмы стали все больше влиять на физическую среду, преобразуя ее и поставляя в нее источники энергии и вещества. Эволюция биосферы в фанерозое шла в целом по пути увеличения степени замкнутости круговоротов веществ и минимизации их потерь не только в масштабе локальных экосистем, но и в масштабе региональных, континентальных и глобальных комплексов биосферы. Чистый результат «деятельности» биосферы — интенсификация миграции и оборота химических элементов на планете, рост биомассы

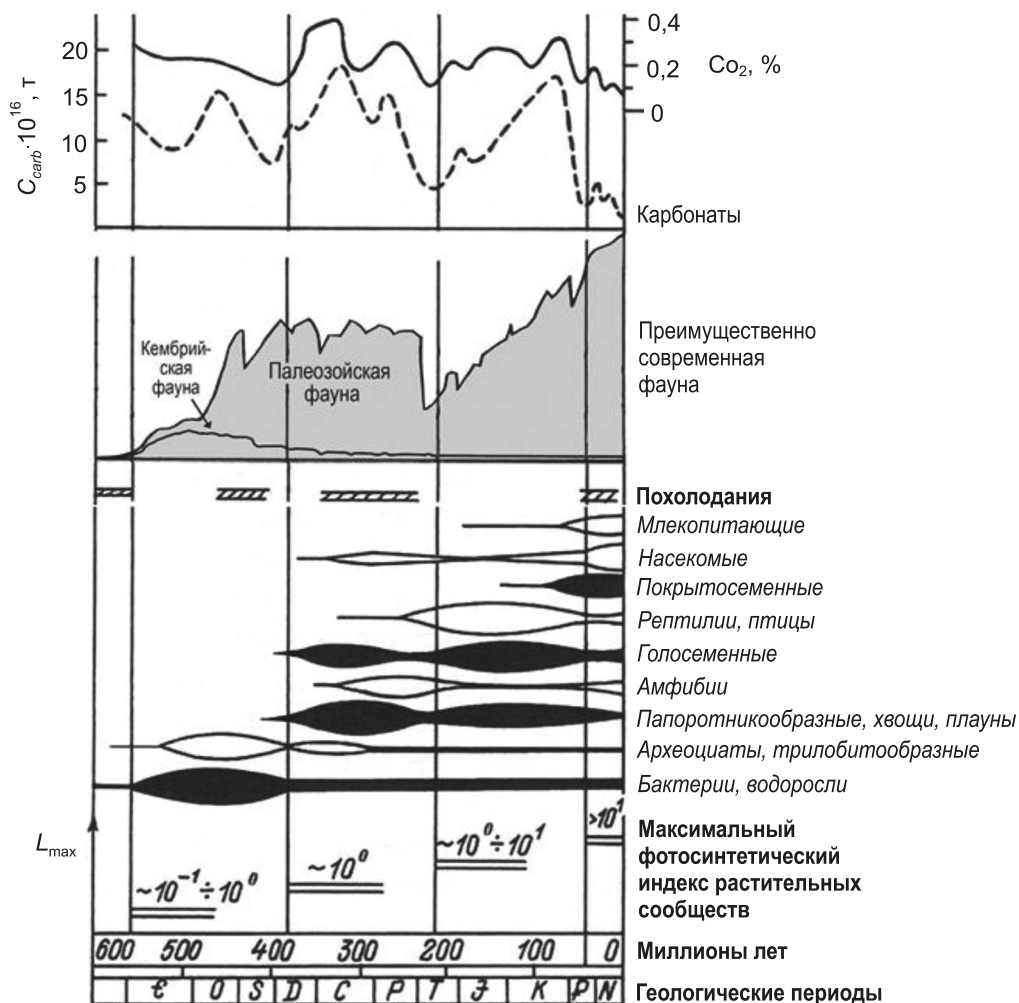


Рис. 2. Изменение характеристик биосферы и смены доминирующих таксонов наземных организмов в течение фанерозоя, по (Левченко, 2011) с изменениями и дополнениями. Эволюция биосферы представлена на схеме как последовательный, прерываемый кризисами (вертикальные линии на схеме), рост биоразнообразия

и заключенной в ней энергии (Левченко, 2011). И здесь решающую роль сыграли живые организмы, благодаря деятельности которых стало возможным повышение фотосинтетического индекса, которое ранее, до приспособления живых существ к жизни на суше, обеспечивалось за счет совершенствования работы клеточного фотосинтетического аппарата (рис. 2).

Освоение суши открывало для продуцентов новые возможности. Прежде всего, вынос на воздух фотосинтетических поверхностей способствовал повышению эффективности транспорта газов, необходимых для фотосинтеза и дыхания растений. Поскольку возможности более эффективного продуцирования органического вещества были исчерпаны к тому времени на молекулярном уровне, в связи с воз-

никновением максимально эффективных хлорофиллов акцент перешел на формирование сложной структуры биогеоценозов в трехмерном пространстве. С освоением наземных и амфибиотических местообитаний предками современных папоротников, хвощей, плаунов и примитивными голосеменными растениями было связано повышение фотосинтетического индекса и, соответственно, увеличение первичной продукции. Следующий этап ее роста пришелся на триас и был связан с господством на обширных пространствах голосеменных (см. рис. 2). Наибольшее усложнение структуры растительных сообществ обеспечили покрытосеменные — самая богатая видами группа растений — вплоть до практически полного перехватывания солнечной энергии верхними «этажами» сложных растительных сообществ. Решающую роль в этом играл рост биоразнообразия.

И каждый раз смена доминирующих групп растительности следовала одинаковому сценарию: когда на долгом пути исторического развития среда «открывала окно» для активизации биосферных процессов (повышение парциального давления O_2 , рост продуктивности экосистем, экспансия более эффективных продуцентов, увеличение биологического разнообразия, усиление межвидовой конкуренции), преимущество получали биологические группы, способные к активному взаимодействию со средой. Вспышка видообразования и расцвет новых групп неизменно следовали за крупной катастрофой, приводящей к гибели существовавших на тот период экосистем (см. рис. 2). На фоне разрушенных прежних связей, освободившихся экологических ниш и обострившейся в связи с этим конкуренции заявляли о себе и завоевывали все новые пространства биологические группы, способные быстро реагировать на изменяющуюся среду (Жерихин, 2003).

За продуцентами следуют консументы, разнообразие которых прямо пропорционально разнообразию и обилию первичной продукции. Сценарий для каждой конкретной группы был свой и складывался из последовательности шагов, поддержанных естественным отбором и потому ведущих к более успешной эксплуатации среды. Эффективности взаимодействия биотического сообщества со средой способствовала также поддержанная отбором все усиливающаяся специализация зависящих друг от друга продуцентов и консументов. Усиление межвидовой конкуренции ведет к расширению сферы действия отрицательной обратной связи и повышению устойчивости экосистемы. Сочетание локальных экосистем, устойчивых и находящихся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды, — важный компонент динамической устойчивости биосферы в целом.

На определенной стадии развития в наземных экосистемах поток энергии и веществ рано или поздно (если нет нарушений) начинал проходить через детритную пищевую цепь. Появление постоянно существующего запаса трудноразложимой органики вело к радикальной перестройке пищевых цепей (Еськов, 2004). С этого времени большая часть вещества и энергии оборачивалась через детритные, а не через пастбищные цепи. Возрастала роль редуцентов, круговорот веществ замыкался. В результате создания замкнутых (и управляемых самими экосистемами) круговоротов веществ уменьшался разброс условий внутренней среды экосистем, возрастала динамическая устойчивость экосистем в пространстве и времени. В ходе эволюции биосферы на всех уровнях ее организации неоднократно возникал экологический гомеостазис — динамическая устойчивость биосферы в про-

странстве и времени, который постоянно усиливался путем поддержания относительного постоянства условий внутренней среды.

Таким образом, равновесие биосферы поддерживается действием системы динамической устойчивости, в основе которой лежит биотическая регуляция трех факторов: 1) круговорота веществ, 2) «выедания» растительности и 3) численности популяций. Первое, в частности, означает удивительное постоянство (на протяжении сотен миллионов лет) содержания неорганического углерода в атмосфере; вторым обеспечивается использование ресурсов пропорционально их эффективному запасу; третьим предотвращаются губительные для биосферы колебания численности популяций.

Еще одним условием устойчивости биосферы служит соблюдение территориального и компонентного равновесия экосистем, которые, в свою очередь, находятся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды. В равновесии должны находиться не только локальные экосистемы и природные комплексы высокого уровня: биомы, ландшафты, биогеографические области и т.д. (Бродский, 2016), но и «основные действующие лица»: продуценты, консументы и редуценты. Если изобразить каждый из трех основных трофических уровней в виде цилиндра, где высота цилиндра соответствует биомассе, а его диаметр — числу известных видов, то мы получим глобальную экологическую пирамиду (рис. 3), форма которой позволяет продемонстрировать основное свойство биосферы — закономерное распределение биомассы и числа видов на трех основных трофических уровнях. Очевидно, что равновесие биосферы не может быть полным, если не сбалансированы все компоненты — от потока энергии, субстрата, атмосферы и вод до биотической совокупности. Последняя является управляющей системой по отношению к абиотической совокупности. В свою очередь, в биотической системе управляющей подсистемой служат консументы, так как от них зависит степень использования первичной продукции и в конечном счете стабильность системы в целом. По правилу Эшби, управляющая подсистема (или управля-

ющая система) должна быть организована не менее сложно, чем управляемая; возможно, в этом лежит разгадка тайны, почему на Земле так много видов животных, особенно насекомых. Поэтому глобальная экологическая пирамида имеет вид волчка (см. рис. 3). При таком способе изображения основных трофических уровней биосферы соотношения диаметров острия, маховика и стержня «волчка жизни» могут быть в разных экосистемах различными, но для того чтобы волчок не падал, они не могут быть произвольными.



Рис. 3. Глобальная экологическая пирамида.

Принцип построения глобальной экологической пирамиды следующий: каждый из основных трофических уровней (продуценты — консументы — редуценты) изображен в форме цилиндра, высота которого — биомасса, а диаметр — число видов

4. Расстановка приоритетов

В работах, посвященных проблемам деградации биосферы, нечасто можно встретить попытку обосновать методы и способы выхода из глобального кризиса. Авторы обстоятельного исследования в этой области (Яблоков и др., 2015) предлагают комплексную программу по восстановлению планетарного баланса с акцентом на стабилизацию биогеохимических циклов. Программа включает ряд важных мер, часть которых уже предпринимается в настоящее время, однако, если судить по сохраняющейся остроте обсуждаемых проблем, без особого успеха. Большинство предлагаемых мер подразумевает высокий уровень развития науки и технологий и потому доступно лишь экономически развитым государствам (Яблоков и др., 2014). Возможности применения этих мер, причем в весьма ограниченных в силу значительной научной и технической сложности масштабах, вновь возвращают нас к популярной в конце прошлого — начале нынешнего века проблеме взаимоотношения стран Севера и Юга.

Попытки сохранения биоразнообразия, а также усилия отдельных лиц, социальных групп и организаций, направленные на спасение редких и исчезающих видов, нередко наталкиваются на прозаическую необходимость сиюминутного получения ресурсов для обеспечения потребностей человеческого общества. Чтобы расставить приоритеты и определить ближайшие задачи, следует обратить внимание на причины, не позволяющие гармонизировать биосферные процессы с нуждами природопользования. Изменение климата, влияние многих других факторов, рассмотренных выше, но прежде всего стремление человека получать ресурсы в неограниченном количестве, не считаясь с возможностями биосферы, приводит в итоге к сокращению биоразнообразия и, следовательно, к невозможности нормального функционирования биосферной системы жизнеобеспечения человечества. Подобно тому как эволюционное развитие биосферы определяется поступательным усложнением структуры биоразнообразия, так и разрушение самого биоразнообразия приводит к «утасанию» биосферы, к утрате ею важных свойств, необходимых для поддержания жизни человека.

Несмотря на отдельные успехи в деле сохранения биоразнообразия, к числу которых можно отнести спасение отдельных видов, популяций, организацию особо охраняемых природных территорий, общая негативная тенденция сокращения биоразнообразия сохраняется. Еще на состоявшейся в 2002 г. в Йоханнесбурге третьей международной конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию мировые лидеры постановили достичь существенного сокращения темпов утраты биоразнообразия к 2010 г. К настоящему времени стало очевидным, что поставленных целей достичь не удалось.

Итоги реализации намеченной на 2010 г. цели подведены в докладе «Глобальная перспектива в области биоразнообразия» (Конвенция о биологическом разнообразии, 2010). Анализ итогов реализации поставленной цели позволяет сделать ряд выводов, которые необходимо учитывать при планировании и координации дальнейшей деятельности, направленной на сокращение утрат биоразнообразия. Основной вывод состоит в том, что меры реагирования на сокращение биоразнообразия в период до 2010 г. ограничивались учетом прямых нагрузок и реакции на них. В то же время недостаточное внимание было уделено первопричинам не-

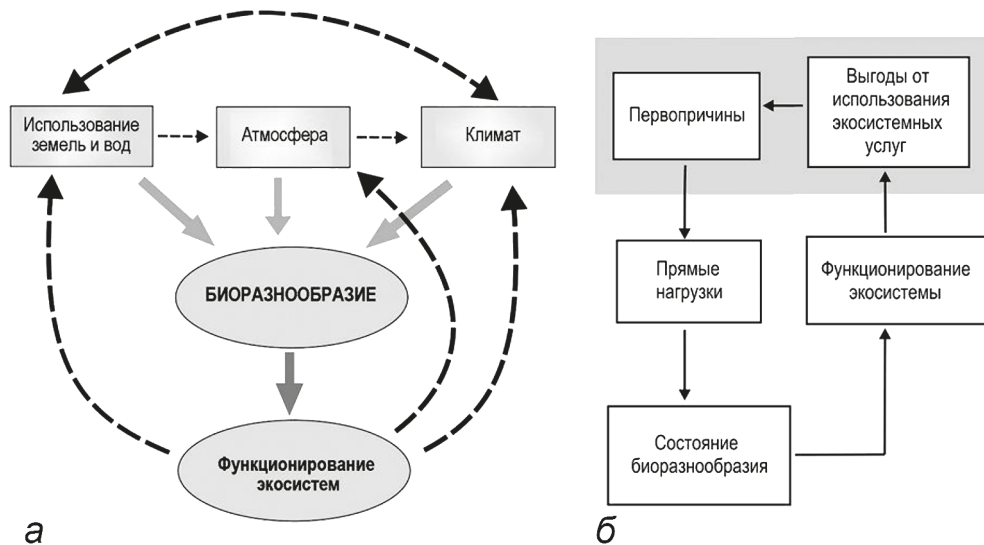


Рис. 4. Контуры обратной связи, определяющей зависимость силы и характера антропогенного воздействия от функционирования экосистем, которое, в свою очередь, зависит от состояния биоразнообразия без учета первопричин (а) и с их учетом (б, в темном прямоугольнике расположены элементы обратной связи, которые необходимо учитывать для снижения нагрузки на биоразнообразие)

гативных изменений биоразнообразия, а также тому, насколько сокращение биоразнообразия сказывается на эффективности функционирования экосистем. Для того чтобы разорвать или по крайней мере ослабить связь между первопричинами и прямыми нагрузками на биоразнообразие, необходим учет в достаточной степени услуг, предоставляемых экосистемами. Представление об экосистемных услугах позволяет по-новому взглянуть на условия сохранения биоразнообразия в зависимости от характера и интенсивности воздействия на экосистемы. Система связей между элементами, определяющими успех в деле сохранения биоразнообразия и прямыми антропогенными нагрузками на экосистемы (рис. 4), показывает, что сокращение экосистемных услуг автоматически вызывает еще более серьезную антропогенную нагрузку на экосистему, т. е. рост первопричин деградации экосистемы. Отсюда следует вывод о необходимости усиления мер, направленных на сохранение биоразнообразия как основного условия повышения качества жизни людей.

Биоразнообразие — своеобразная биологическая матрица, определяющая вектор социального развития. А коль скоро это так, то первые шаги должны быть сделаны в направлении сохранения биоразнообразия. Вряд ли удастся достичь этого одними традиционными методами, характерными для классической экологии, вроде рационализации природопользования, изъятия из хозяйственного использования отдельных ресурсов и т. п. Очевидно, что в создавшихся условиях внимание к экологическим проблемам должно переместиться из чисто экологической сферы (области компетенции биологических наук и наук о Земле) в сферу экономических

и социальных проблем. Единственный способ избежать конфликта между усилиями по сохранению биоразнообразия и человеческими потребностями — следовать принципам устойчивого развития. Подход с позиции концепции устойчивого развития позволяет рассматривать проблемы сохранения биоразнообразия во взаимосвязи и взаимодействии с экономическими и социальными процессами. Он также показывает, что интенсивность использования природных ресурсов должна быть сбалансирована с возможностями поддержания функций и жизнеспособности экосистем, так как от услуг, которые они предоставляют, напрямую зависит качество жизни населения. Задача социологов состоит в том, чтобы «замкнуть» в сознании людей информацию о состоянии экосистем с тем, как оно сказывается на качестве их жизни.

Заключение

В основе устойчивости биосферы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, «выедания» растительности и численности популяций. Все эти факторы сформировались в ходе исторического развития биосферы, которое хотя и не было гладким, но в масштабе геологического времени неизменно сохраняло тенденцию повышения биологического разнообразия, вектор от простого к сложному, от хаотичного к организованному, от случайного к закономерному. И каждый раз на протяжении сотен миллионов лет биосфера снова и снова воспроизводит себя в миллионах локальных экосистем, которые в иерархическом порядке выстраиваются снизу вверх — от локальных экосистем (через биомы и биогеографические области) до биосферы. Биологическим разнообразием обеспечивается компонентное и территориальное равновесие слагающих биосферу экосистем. Только в богатом видами сообществе может обеспечиваться равновесие между поступающей энергией и ее использованием и, в свою очередь, через серию этапов ненарушаемого развития — территориальное равновесие слагающих биосферу компонентов.

В ходе «преобразования природы» человек нарушил эту гармонию. Разум усилил физиологические возможности человека: в отличие от всех иных живых существ человек стал изобретать и использовать множество инструментов и технологий, усиливающих и дополняющих возможности его тела (Вернадский, 1989). Результатами деятельности человека стали размыкание естественных биогеохимических циклов, загрязнение среды, глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний. Разрушение биоразнообразия лишает экосистемы возможности полноценного функционирования, нарушает территориальное и компонентное равновесие биосферы. Угроза истощения природных ресурсов заставила человека задуматься сначала о рационализации природопользования, а затем и о необходимости возобновления природных ресурсов. Настало время решительных мер, направленных на возобновление основного экологического ресурса — биоразнообразия. Наш основной вывод состоит в том, что цепочку событий, ведущих к нарушению динамического равновесия биосферы, необходимо прервать. Надежду в этом мы возлагаем на деятельность человечества в рамках концепции устойчивого развития.

Литература

- Алексеев, А. С., 2000. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов, в: Вестн. Моск. ун-та 4, 6–14.
- Бродский, А. К., 2012. Ускользающая реальность. Прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия. ДЕАН, Санкт-Петербург.
- Бродский, А. К., 2016. Биоразнообразие: структура, проблемы и перспективы сохранения, в: Аспекты биоразнообразия, в: Сб. тр. Зоологического музея МГУ 54, 380–396.
- Вернадский, В. И., 1989. Биосфера и ноосфера. Наука, Москва.
- Вернадский, В. И., 1994. Живое вещество и биосфера. Мысль, Москва.
- Глобальная перспектива в области биоразнообразия 3, 2010. Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии, Монреаль.
- Еськов, К. Ю., 2004. История Земли и жизни на ней. НЦ ЭНАС, Москва.
- Жерихин, В. В., 2003. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. Товарищество научных изданий КМК, Москва.
- Кравчук, М. А., Красков, Ю. И., Малинин, В. Н., 2009. Глобальный экологический кризис: стратегия выживания, в: Общество. Среда. Развитие, 1, 194–205.
- Левченко, В. Ф., 2004. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. Наука, Санкт-Петербург.
- Левченко, В. Ф., 2011. Три этапа эволюции жизни на Земле. Lamberet Academic Publishing, Bonn.
- Яблоков, А. В., Левченко, В. Ф., Керженцев, А. С., 2014. Переход к управляемой эволюции биосферы, в: Наука в России 4, 48–54.
- Яблоков, А. В., Левченко, В. Ф., Керженцев, А. С., 2015. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы, в: Philosophy & Cosmology 14, 92–118.
- Bobylev, N., 2009. Mainstreaming Sustainable Development into a City's Master Plan: a Case of Urban Underground Space Use, in: Land Use Policy 26, 4, 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.003>.
- Bobylev, N., 2010. Ecosystem Services in the Context of Human Development, in: Liotta, P.H., et al. (Eds) *Achieving Environmental Security: Ecosystem Services and Human Welfare*. IOS Press, Amsterdam, 183–205.
- Bobylev, N., 2013. Urban physical infrastructure adaptation to climate change, in: Saulnier, J.B., Varella, M.D. (Eds), *Global Change, Energy Issues and Regulation Policies, Integrated Science & Technology Program 2*. Springer Science+Business Media Dordrecht, 77–102.
- Fordham, D.A., Akçakaya, H.R., Alroy, J., Saltré, F., Wigley, T.M.L., Brook, B.W., 2016. Predicting and mitigating future biodiversity loss using long-term ecological proxies, in: *Nature Climate Change* 6, 909–916.
- Wende, W., Bond, A., Bobylev, N., Stratmann, L., 2012. Climate change mitigation and adaptation in strategic environmental assessment, in: *Environmental Impact Assessment Rev.* 32, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.04.003>.

Для цитирования: Бродский А.К., Бобылев Н.Г. Биоразнообразие в преодолении современного экологического кризиса: исследование экосистемного и антропоцентричного подходов в стратегии устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. Вып. 3. С. 237–253. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2017.302>

References

- Alekseev, A. S., 2000. Tipizatsiia fanerozoiskikh sobytii massovogo vymiraniia organizmov [Typification of Phanerozoic events of the mass extinctions of organisms], in: *Vestnik Mosk. un-ta* 4, 6–14. (in Russian)
- Bobylev, N., 2009. Mainstreaming Sustainable Development into a City's Master Plan: a Case of Urban Underground Space Use, in: *Land Use Policy* 26, 4, 1128–1137. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.003>.
- Bobylev, N., 2010. Ecosystem Services in the Context of Human Development. Liotta, P.H., et al. (Eds) *Achieving Environmental Security: Ecosystem Services and Human Welfare*. IOS Press, Amsterdam, 183–205.
- Bobylev, N., 2013. Urban physical infrastructure adaptation to climate change. Saulnier, J.B., Varella, M.D. (Eds), *Global Change, Energy Issues and Regulation Policies, Integrated Science*

- ✉ *Technology Program 2*, Springer Science+Business Media Dordrecht, 77–102, in: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6661-7_4.
- Brodskii, A. K., 2012. *Uskol'zaiushchaia real'nost'. Proshloe, nastoiashchee i budushchee bioraznoobraziia* [The escaping reality. Past, present and future of biodiversity]. DEAN, Saint-Petersburg. (in Russian)
- Brodskii, A. K., 2016. Bioraznoobrazie: struktura, problemy i perspektivy sokhraneniia [Biodiversity: structure, problems and perspectives of conservation], in: *Aspekty bioraznoobraziia. Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeia MGU* [Collection of works of the Zoological Museum of Moscow State University] 54, Moscow, 380–396. (in Russian)
- Es'kov, K. Iu., 2004. *Istoriia zemli i zhizni na nei* [The history of the Earth and life on it]. NTs ENAS Publ., Moscow. (in Russian)
- Fordham, D. A., Akçakaya, H. R., Alroy, J., Saltré, F., Wigley, T. M. L., Brook, B. W., 2016. Predicting and mitigating future biodiversity loss using long-term ecological proxies, in: *Nature Climate Change* 6, 909–916.
- Kravchuk, M. A., Kraskov, Iu. I., Malinin, V. N., 2009. Global'nyi ekologicheskii krizis: strategiiia vyzhivaniia [The global environmental crisis: a survival strategy], in: *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development] 1, 194–205. (in Russian)
- Levchenko, V. F., 2004. *Evoliutsiia biosfery do i posle proiskhozhdeniia cheloveka* [Evolution of the biosphere before and after human origin]. Nauka, St. Petersburg. (in Russian)
- Levchenko, V. F., 2011. *Tri etapa evoliutsii zhizni na Zemle* [Three stages of the evolution of life on Earth]. Lamberet Academic Publishing, Bonn. (in Russian)
- Global'naia perspektiva v oblasti bioraznoobraziia 3* [Global Biodiversity Outlook 3], 2010. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal (in Russian)
- Vernadskii, V. I., 1989. *Biosfera i noosfera* [Biosphere and noosphere]. Nauka, Moscow. (in Russian)
- Vernadskii, V. I., 1994. *Zhivoe veshchestvo i biosfera* [Living matter and biosphere]. Mysl', Moscow. (in Russian)
- Wende, W., Bond, A., Bobylev, N., Stratmann, L., 2012. *Climate Change Mitigation and Adaptation in Strategic Environmental Assessment*, in: *Environmental Impact Assessment Review* 32, 1, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.04.003>
- Yablokov, A. V., Levchenko, V. F., Kerzhentsev, A. S., 2014. Perekhod k upravliaemoi evoliutsii biosfery [The transition to a controlled evolution of the biosphere], in: *Nauka v Rossii* [Science in Russia] 4, 48–54. (in Russian)
- Yablokov, A. V., Levchenko, V. F., Kerzhentsev, A. S., 2015. Perekhod k upravliaemoi evoliutsii biosfery [Essays of Biospherology 1. There is a way: the transition to a controlled evolution of the biosphere], in: *Philosophy & Cosmology* 14, 92–118. (in Russian)
- Zherikhin, V. V., 2003. *Izbrannye trudy po paleoekologii i filotsenogenetike* [Transition to the controlled evolution of the biosphere]. Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK [The Partnership of Scientific Publication of KMK], Moscow. (in Russian)

For citation: Brodsky A. K., Bobylev N. G. Biodiversity and overcoming the contemporary environmental crisis: A discussion on anthropocentric and ecosystem-based approaches to sustainable development. *Vestnik SPbSU. Earth Sciences*, 2017, vol. 62, issue 3, pp. 237–253. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2017.302>

Статья поступила в редакцию 22 мая 2017 г.
Статья рекомендована в печать 6 октября 2017 г.

Контактная информация

Бродский А. К. — доктор биологических наук, профессор; a.brodsky@spbu.ru

Бобылев Н. Г. — кандидат технических наук, доцент; n.bobylev@spbu.ru

Brodsky A. K. — Doctor of Biology, Professor; a.brodsky@spbu.ru

Bobylev N. G. — Ph.D., Associate Professor; n.bobylev@spbu.ru